

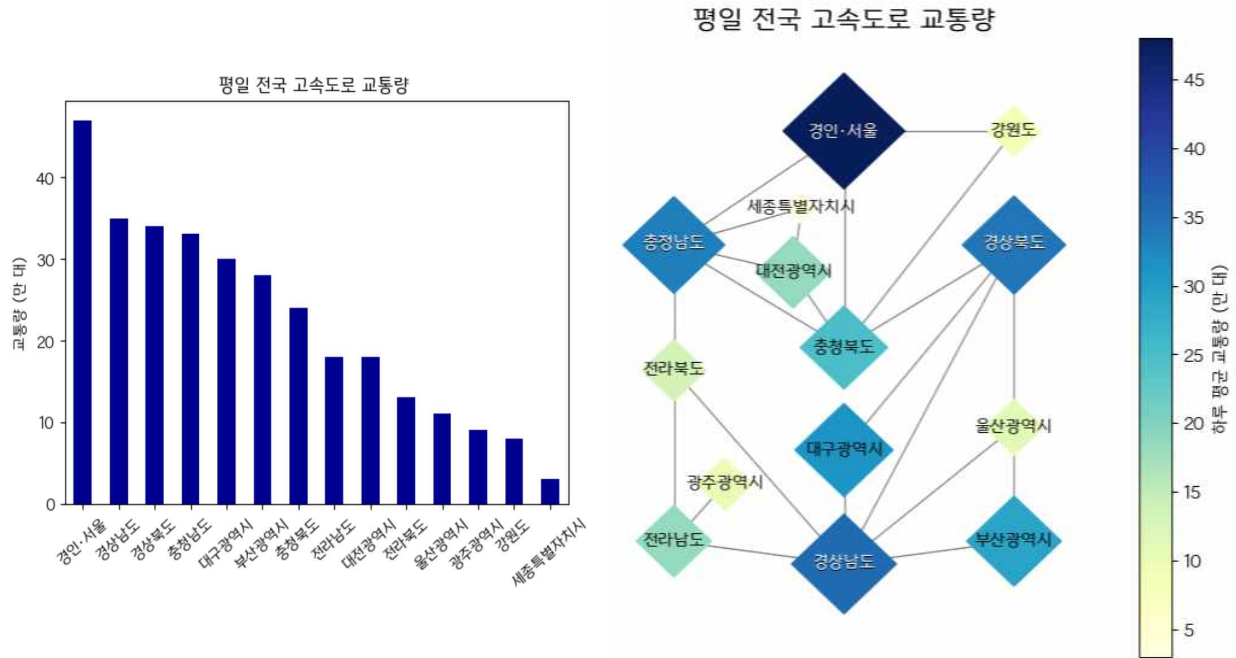
# 분석보고서

## 네트워크 이론으로 분석한 경상남도의 도로교통

신윤정

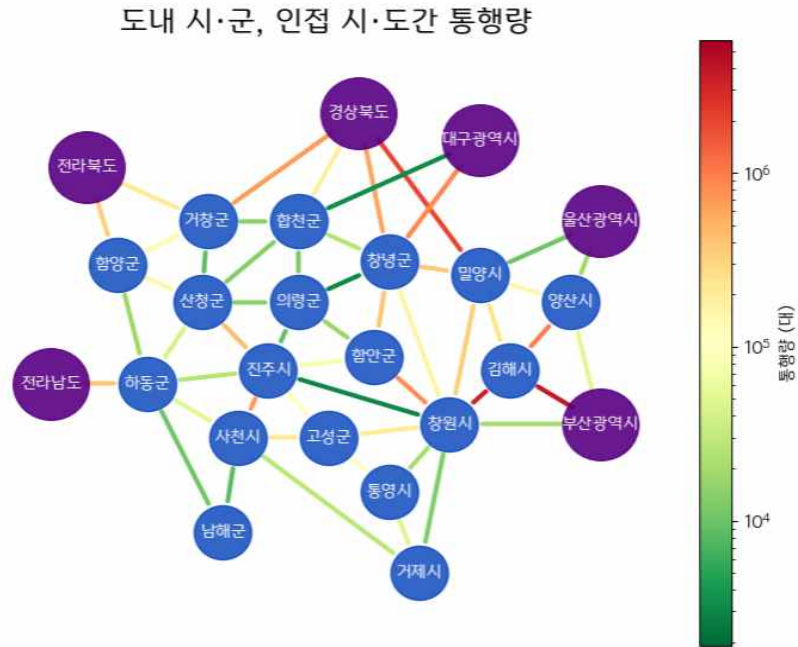
본 분석에서는 경상남도가 총 18개의 시·군으로 이루어져 있다는 점에서 착안하여 경상남도를 18개의 시·군이라는 노드로 구성된 네트워크로 상정하고 네트워크 이론<sup>1)2)</sup>에 기반하여 분석하였습니다. 이를 확장하여 우리나라를 17개 광역자치단체의 노드로 구성된 네트워크로 보기도 하였는데, 경상남도가 분석의 중심이 되는 만큼 순서를 달리하여 전국 네트워크, 경상북도의 시·군과 인접 광역자치단체의 네트워크, 마지막으로 경상북도 네트워크로 시야를 좁혀 나가면서도 분석의 심도를 높여나가며 서술하도록 하겠습니다. 이러한 네트워크에서 구간 교통량, 통행속도와 같은 도로교통 데이터가 노드의 특성 및 노드 간 연결성의 좋은 지표가 될 수 있을 것으로 판단해 경남 빅데이터 허브 플랫폼<sup>3)</sup>, 고속도로 공공데이터 포털<sup>4)</sup>, 교통량정보제공시스템<sup>5)</sup>에서 제공하는 데이터를 이용하였습니다. 이 외에도 합리적으로 데이터를 분석하고 해석하기 위해 다양한 데이터 및 문헌들을 참고하였는데, 이들은 본문과 미주에 명시하도록 하겠습니다. 또한 네트워크를 다루는 만큼, 효과적인 시각화를 위해 보편적으로 사용되는 시각화 라이브러리인 Matplotlib<sup>6)</sup> 외에도 네트워크에 특화된 NetworkX<sup>7)</sup>를 사용하였습니다.

먼저 우리나라 17개 광역자치단체 간 평일 고속도로 평균 통행량을 산출하여 [그림 1]과 같이 시각화하였습니다. 구체적으로는, 한국도로공사에서 제공하는 ‘영업소간 교통량’ 데이터가 꽤 방대한 탓에 분석의 범위를 2024년 6월의 평일 4일(4, 12, 20, 24일)로 한정하고, 6개 차종에 대한 개별적인 구분 없이 수를 집계한 총통행량을 이용하였습니다. 이 데이터는 ‘출발영업소명’, ‘도착영업소명’, ‘도착지방방향총교통량’ 등의 열로 이루어져 있으며, 이를 영업소별 주소가 명세 된 ‘노선별 영업소 현황’ 데이터 세트와 결합하여 어떤 지역 간의 이동인지를 광역시/도와 시/군/구 단위까지 파악하였습니다. 이때 두 데이터 세트에 나열된 영업소 이름이 일치하지 않는 경우가 더러 있어, 이 경우 위키백과의 ‘대한민국의 고속도로 영업소 목록’<sup>8)</sup>을 참고하여 주소를 직접 입력하는 방식으로 보완하였습니다. 이렇게 출발·도착 영업소의 각 주소와 도착지 방향의 총 교통량으로부터 광역자치단체 간 교통량을 성분으로 하는 인접행렬(adjacency matrix)을 만들고, 대각성분으로 나타나는 광역자치단체의 내부적인 통행량은 제거한 뒤, 각 행의 모든 열의 합을 구함으로써 광역자치단체별 평일 평균 고속도로 통행량을 구하고 [그림 1]과 같이 막대그래프와 네트워크로 시각화해보았습니다. 후자에서는 이웃한 광역자치단체 쌍은 엣지<sup>9)</sup>로 연결하였으며, 교통량을 노드의 크기와 색상에 반영하였습니다. 경상남도의 경우 가장 많은 이웃 노드를 보유하며, 수도권에 이어 두 번째로 높은 교통량(하루 평균 약 35만 대)을 자랑하며 경상북도(34만), 충청남도(33만)와 함께 비수도권의 교통의 허브로서 역할을 하고 있음을 알 수 있습니다.

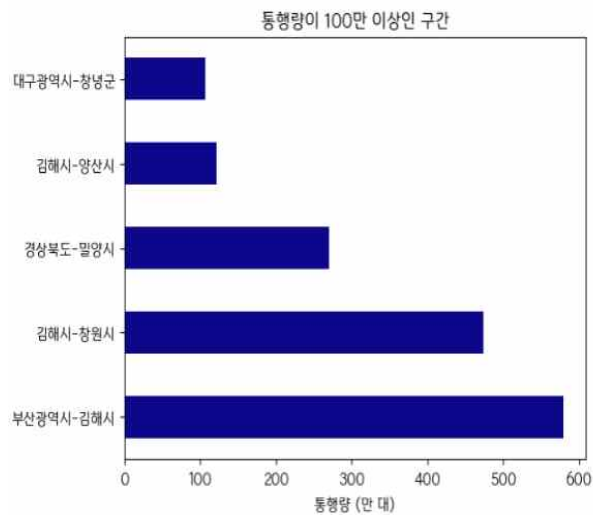


[그림 1] (1) 광역자치단체별 인접한 시·도 간의 평일 하루 평균 교통량. 분석의 취지에 맞게 광역자치단체의 내부적인 통행량은 집계에서 제외하였음. (2) 이를 네트워크로 시각화한 것. 이웃한 광역자치단체 쌍은 노드를 잇는 선인 엣지로 연결하였으며, 교통량을 각 노드의 크기와 색상에 반영하였음.

다음으로, 경상남도의 시·군과 인접 광역자치단체의 네트워크를 [그림 2]와 같이 구축하였습니다. 이를 위해, 먼저 경남 빅데이터 허브 플랫폼에서 제공하는 ‘경상남도 시군별 도로현황’을 통해 도내에는 고속국도, 일반국도, 지방도, 시도, 군도 총 다섯 가지 유형의 도로가 있으며 김해시, 남해군, 의령군에는 고속도로가 존재하지 않는 것을 확인했습니다. 따라서 앞선 분석에서처럼 고속도로 데이터만으로는 한계가 있다고 판단하여 고속국도, 일반국도, 지방도의 통행량을 제공하는 교통량정보시스템의 ‘도로종류별교통량’ 이용하였습니다 (시도와 군도에 관한 정보는 찾을 수가 없어 네트워크에 반영되지 못하였습니다). 교통량정보시스템은 도로의 유형과 호선 번호를 선택해야 해당 도로의 구간 통행량을 조회할 수 있게 설계되어 있어 도내에 존재하는 도로의 유형 및 호선 번호를 먼저 파악해야 했고, 이를 위해 경남 빅데이터 허브 플랫폼에서 찾아볼 수 있는 ‘거창군 도로현황’, ‘양산시 도로현황’, ‘창원시 교통량’을 참고하였으며, 이 외 기초자치단체 열다섯 곳의 도로 현황은 해당 플랫폼에서 찾아볼 수 없어 위키백과의 ‘경상남도의 도로 노선’<sup>10)</sup>을 보완적으로 사용하였습니다. ‘도로종류별교통량’은 특정 조사지점에서의 교통량을 방향과 무관하게 집계한 것으로, 결과적으로는 방향성이 없는 네트워크를 얻게 되었습니다. 또한 이전과 같이 차종과 무관하게 집계된 총통행량 수치를 사용하였고, 광역·기초자치단체 간의 연결성을 살펴보려는 분석의 목적에 부합하게 조사 구간의 양 끝 지점의 주소가 광역시/도 또는 시/군/구 범주에서 다른 경우의 통행량만 유의미하게 집계하였습니다. [그림 3]은 통행량이 백만 이상으로, 두 노드를 잇는 선인 엣지가 붉게 나타나는 구간의 구체적인 통행량을 확인하기 위하여 그린 그래프입니다. 부산광역시~김해시, 김해시~창원시 구간이 580만, 474만의 압도적인 통행량을 보입니다.



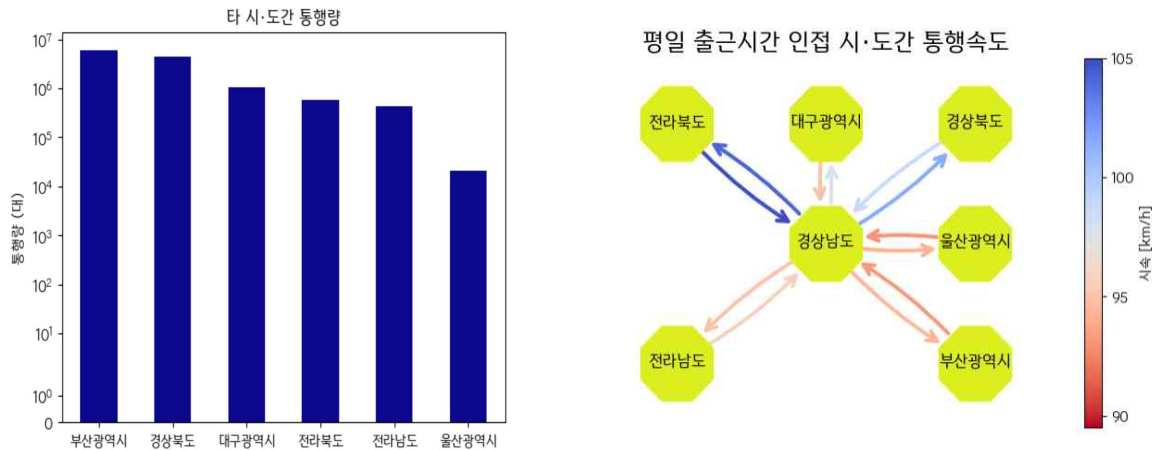
[그림 2] 경상남도 시·군과 인접 광역자치단체라는 노드로 구성된 네트워크. 노드를 연결하는 엣지는 구간 통행량만큼의 가중치를 가짐.



[그림 3] 경상남도와 인접 광역자치단체의 네트워크([그림 2])에서 통행량이 100만 이상으로, 엣지가 붉게 나타나는 구간의 통행량.

경상남도와 인접한 시·도 간의 통행량을 합한 결과는 [그림 4-1]과 같습니다. 앞서 [그림 3]에서 일부 확인이 된 것처럼, 부산광역시, 경상북도, 대구광역시에 이어서 전라북도, 전라남도, 울산광역시 순으로 경상남도와의 통행량이 많은 것으로 나타났습니다. [그림 4-2]는 경상북도와 인접한 시·도를 노드로, 평일 오전 7시의 고속도로 평균 통행속도를 가중치로 하는 엣지로 하는 네트워크입니다. 여기서 출근 시간 평균 통행속도는 다음과 같은 방법으로 산출하였습니다: 먼저 고속도로 공공데이터 포털에서 open API 형태로 제공되는 ‘휴게소별 날씨 정보’<sup>11)</sup>를 이용하여 위에서 언급한 평일 네 개의 날짜의 오전에, 전국의 고속도로에 비가 오지 않았음을 확인한 후, 같은 포털에서 제공하는 ‘구간 통행속도\_1시간\_1일’ 데이터를 이용하여 시간별 통행속도의 평균을 구했습니다. 이때, 평균 통행속도가 오전 7시에 최저치를 보이는 것에 근거하여 평일 출근 시간 정체의 척도로 삼았습니다. 이 데이터는 ‘콘존ID’, ‘집계시’, ‘평균속도’ 등으로 구성되어 있으며, 어떤 지

역 간의 평균속도인지 알아내기 위하여 이를 콘존<sup>12)</sup>별 시작과 도착 노드를 명세하고 있는 ‘콘존’ 데이터, 노드에 관한 정보를 담은 ‘노선별 노드 지정 정보’ 및 앞서 사용했던 영업소 주소 데이터와 결합하였습니다. 이렇게도 콘존의 위치를 파악하기 어려운 경우에 대해서는 한국도로공사의 실시간 고속도로 교통정보 웹사이트인 ‘고속도로 교통정보 ROADPLUS’의 지도를 참고하였습니다. 이렇게 구한 구간별 평균속도를 엣지로 하는 네트워크를 구간별 통행량과 대조하여 도로교통 인프라의 성능을 가늠하고, 개선이 필요한 구간을 효과적으로 찾아낼 수 있습니다([그림 4]). 보편적으로 높은 통행량은 통행속도의 저하로 이어지기 마련이지만, 흥미롭게도 경상북도와 의 길목의 경우 많은 교통량에도 불구하고 비교적 빠른 통행속도를 자랑하는 반면, 울산광역시로 이어지는 길목의 경우에는 상대적으로 적은 교통량에도 불구하고 정체가 심한 것으로 나타납니다. 따라서 특별히 이 구간에 있어서는 정체를 유발하는 요인을 파악하여 해소하는 것이 필요할 것으로 보입니다.



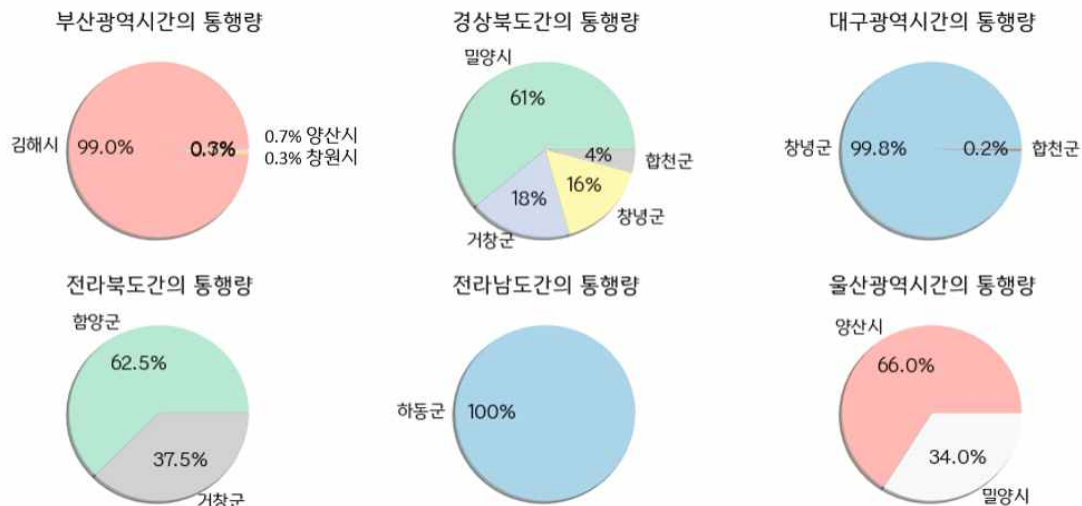
[그림 4] (1) 경상남도과 인접한 시·도 간의 통행량. (2) 평일 출근 시간(7시)의 경상남도과 인접 시·도간 평균 통행속도. 강수로 인한 서행이 평균 통행속도 산출에 영향을 주는 것을 막기 위해 도로공사가 제공하는 ‘휴게소별 날씨 정보’를 이용하여 오전 중에 비가 오지 않은 날짜만을 선별하였음.

이어서 부산광역시로 갈 수 있는 세 가지 경로 중 특별히 김해시와의 통행이 두드러지게 나타나는 것에 주목하여, 인접한 여섯 개의 광역자치단체로 가는 서로 다른 경로 간의 균형 정도를 확인해보았습니다. [그림 5]에서 드러나는 것처럼, 전반적으로 균형을 잘 이루고 있지 못한 것으로 보입니다. 먼저, 현재 전라남도와의 통행의 경우에는 이용이 가능한 도로가 하동군을 가로지르는 국도 59호선뿐이기 때문에 100%로 산출됩니다. 부산광역시, 대구광역시와의 통행에 있어서는 두 개 이상의 경로가 있음에도 불구하고 하나의 경로에만 통행량의 99% 이상이 집중되며, 그 외 전라북도, 울산광역시와의 통행에는 두 경로 중 하나가 60% 이상의 통행량 부하를 감당하고 있습니다. 이러한 불균형을 불러일으킨 요인을 추적해보기 위해 경상남도의 인구 분포와 지도를 참고하였습니다([그림 6]). 전자는 경남 빅데이터 허브 플랫폼의 ‘경상남도 인구’ 데이터에 기반한 것이며, 후자는 경상남도 홈페이지의 ‘시군별 현황’에서 얻은 경상남도 지도에 인접한 광역시·도의 이름과 그들과의 경계를 추가한 것입니다. 앞선 결과들에 이 두 가지 정보를 대조해보며 찾아낸, 도로교통의 불균형을 유발하는 것으로 추정되는 세 가지 주된 요인은 다음과 같습니다: 인접 광역자치단체 중 특별히 부산광역시와의 긴밀한 관계, 이로 인해 부산광역시와 인접한 지역에 밀집된 인구, 지리적인 요인.

첫 번째 요인의 경우, 앞서 보았던 [그림 3]에서 명확히 드러나며, 이는 곧 두 번째 요인인 창원/김해/양산시로의 인구 밀집으로 이어집니다. 구체적으로는, 이 지역에 경상남도 인구의 약 60%가 거주하며, 이 중의 절반은 창원시의 인구입니다. 여기서 주목할만한 것은, 본 문단의 처음에 언급한 대로, 창원시~부산광역시 구간의 통행량이 부산광역시와의 총통행량의 단지 0.3%에 불과하며, 대부분 창원시~김해시~부산광역시의 경로를 이용한다는 점입니다. [그림 6-2]의 지도에서 보이는 것처럼, 무엇보다도 창원시의 동쪽 경계가 대부분 김해시와 닿아있어 동남쪽의 비교적 좁은 경계를 통해서만 부산에 곧바로 도달할 수 있다는 지리적인 요인에서 기인하는 것으로 보입니다. 하지만, 부산광역시로 원활한 통행을 할 수 있음에도 불구하고, 창원시의

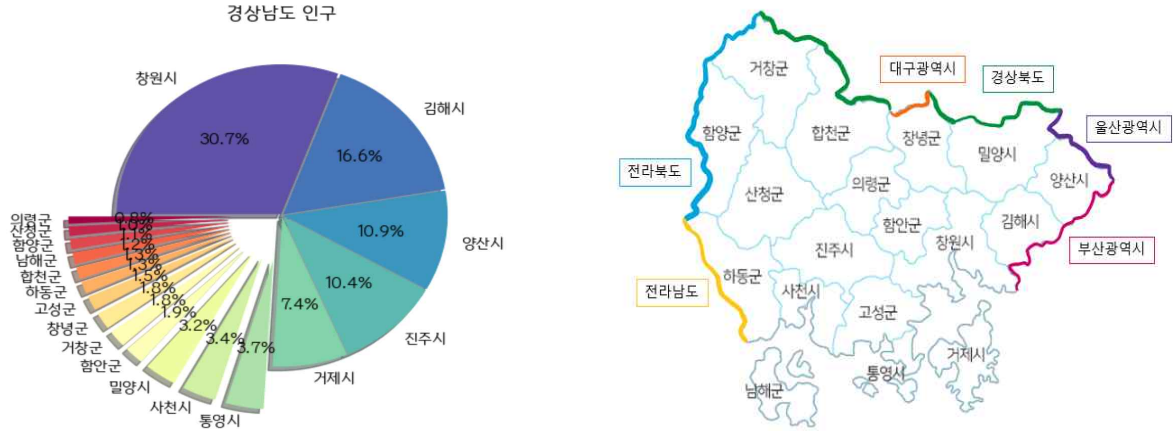
동남쪽에 거주하는 것을 기피하는 데에는 인프라의 부족과 같은 특별한 이유가 있을 것으로 생각됩니다. 또한 양산시와 김해시 모두 부산광역시와 경계를 상당 부분 공유하고 있음에도 불구하고, 양산시~부산광역시의 통행 또한 전체의 0.7%로 상당히 저조합니다. 따라서 김해시~부산광역시에 교통량이 치솟은 원인을 규명하여 해결함으로써 통행량의 효과적인 분산을 꾀할 수 있을 것으로 기대합니다. 추가로, 데이터가 공개되지 않아 네트워크([그림 2])를 구축하는 데에 반영하지 못하였지만, 거제도와 부산광역시를 잇는 도로인 ‘거가대교’<sup>13)</sup>가 있는 것으로 확인이 됩니다. 김해시~부산광역시 구간의 압도적인 통행량으로 비추어보건대 아직은 효과가 미비해 보이지만, 시간이 지나며 밀집된 인구가 거제도로 분산되면서 도로 간 통행량의 불균형을 해소하는 데에 크게 기여할 수 있을 것으로 생각됩니다. 이를 촉진하기 위해 특별히 거제도가 살기 좋은 곳으로 인식이 될 수 있도록 관심을 쏟을 필요가 있을 것으로 보입니다. 이렇게 경상남도과 부산광역시를 잇는 도로 간의 균형을 이루어나가는 동시에, 근본적인 차원에서 인접한 다른 광역자치단체와도 협력을 강화시켜 부산광역시 부근에 밀집된 인구를 도의 전반으로 분산시키는 것이 필요하겠습니다.

마지막 요인을 통해 다른 광역시와의 통행에 두 개 이상의 경로가 존재하기는 하지만 그들 중 특별히 한 곳이 지리적으로 편리해(즉, 대부분의 경계를 공유하고 있어) 자연스럽게 통행량이 불균형해지는 경우를 설명할 수 있습니다. 구체적인 예로는, 대구광역시~창녕군, 전라북도~함양군, 울산광역시~양산시가 있습니다. 경상북도와의 통행의 경우에는 경상북도의 동쪽과 인접한 밀양시(61%)와 창녕군(16%), 서쪽과 인접한 거창군(18%)과 합천군(4%)을 나누어 생각해볼 필요가 있습니다. 여기서 경상북도~밀양시 구간도 밀양시가 인구가 밀집된 세 개의 시를 이웃으로 하는 것과 더불어, 지리적인 요인으로 인해 자연스럽게 통행량이 많은 경우로 생각할 수 있습니다. 반면 거창군과 합천군은 비슷한 인구(각 경상남도 인구의 1.8%, 1.3%를 보유)와 비슷한 지리적 여건(즉, 비슷한 비율로 경상북도와 경계를 공유)에도 불구하고 통행량의 차이는 4배 이상인 것이 눈에 띕니다. [그림 2]의 네트워크에서 거창군 부근의 통행량이 많은 구간을 추적해봄으로써, 이는 거창군이 함양군과 더불어 전라북도와 경상북도를 잇는 다리의 역할을 하기 때문일 것으로 짐작해 볼 수 있습니다. 반면 합천군의 경우, 전라북도와 경상북도를 이웃 노드로 가지는 거창군과 경상북도, 대구광역시, 또 경남의 인구 밀집 지역들을 이웃 노드로 가지는 창녕군 사이에 위치해 교통의 관점에서는 다소 고립되어 있다고 할 수 있습니다.



[그림 5] 인접한 광역자치단체로 가는 서로 다른 경로 간의 통행량 균형 정도를 파악하기 위해 구간별 통행량을 백분율로 나타낸 것.





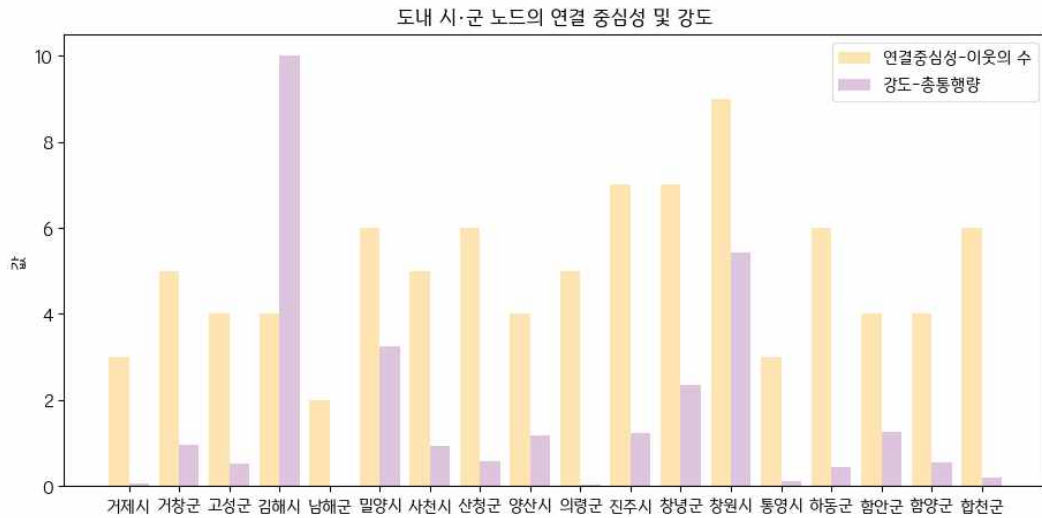
[그림 6] (1) 경상남도 총인구에 대한 각 시·군별 인구의 비율, (2) 경상남도 지도. 우측의 이미지는 경상남도청 홈페이지에 제공되는 지도<sup>14)</sup>에 인접한 광역시·도의 이름과 그들과의 경계를 추가한 것.

앞서 살펴본 것처럼, 교통량을 기반으로 구축된 네트워크에서 각 노드는 여러 가지 측면에서 고유한 특징을 보입니다. 이제부터는 경상남도의 시·군 노드별 특징과 노드 간의 관계를 네트워크 이론에서 사용되는 여러 가지 물리량을 이용하여 설명하고 정량화해보겠습니다. 먼저 노드의 연결 중심성(degree centrality)과 강도(strength)를 구하였으며,  $n$ 개의 노드를 원소로 가지는 노드의 집합  $N$ 으로 이루어진 네트워크에서 임의의 노드  $i$ 를 상정했을 때, 각각은 다음과 같이 정의됩니다:

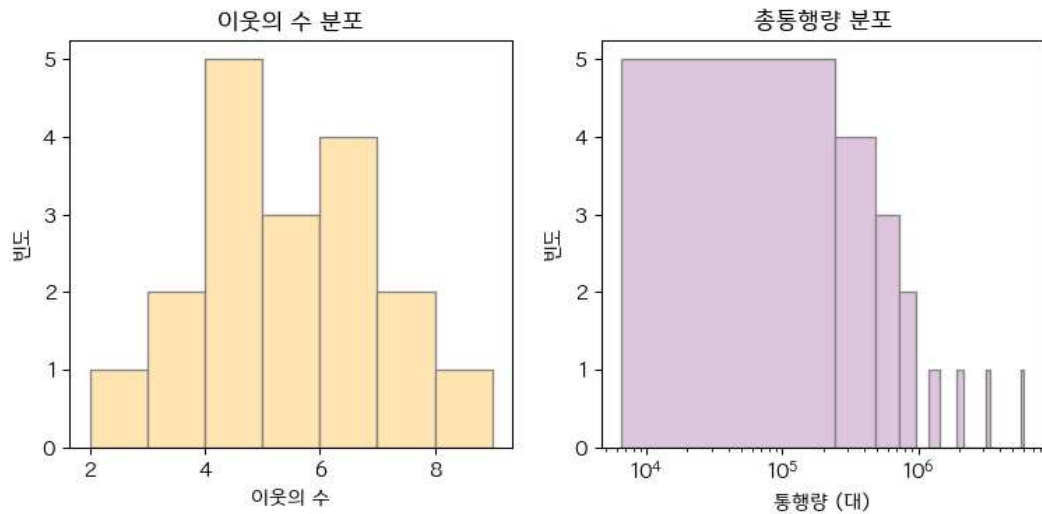
$$D_i = \sum_j^n x_{ij} \quad i, j \in N \quad \dots\dots\dots (1)$$

$$S_i = \sum_j^n w_{ij} \quad i, j \in N \quad \dots\dots\dots (2)$$

여기서  $\{x_{ij}\}$ 는 노드  $i$ 와  $j$ 를 직접적으로 연결하는 엣지의 존재 유무에 따라 1과 0을 원소로 가지는 인접행렬을,  $\{w_{ij}\}$ 는 노드  $i$ 와  $j$ 를 연결하는 엣지에 부여된 가중치를 원소로 가지는 인접행렬을 의미합니다. 두 노드를 연결하는 엣지가 존재하지 않는 경우, 0의 값을 가집니다. [그림 2]의 네트워크에서 전자는 이웃 노드의 수를, 후자는 이웃 노드들과의 구간 통행량의 총합을 의미합니다. 이 두 가지 물리량을 계산하여 [그림 7]과 같이 시각화하였습니다. 이웃의 수는 최소 2개(남해군)에서부터 최대 9개(창원시)까지 이르며, 평균 5개, 표준편차 1.67개입니다. 또 총통행량은 최소 6484(남해시)부터 최대 601만(김해시)까지 이르며, 평균은 97.5만, 표준편차는 145.7만입니다. 이 두 가지 변수를 함께 그래프에 담을 수 있도록 총통행량은 0부터 10까지의 값을 가지도록 정규화하였습니다. [그림 7]에 이어지는 [그림 8]은 이들의 분포를 보여줍니다. 이웃의 수가 전반적으로 정규분포를 보이는 것을 통해, 경상남도의 한 면이 남해에 닿아있다는 지리적인 취약점에도 불구하고 도내 시·군 간의 원활한 소통이 가능하도록 효율적으로 행정구역이 설정되어 있음을 엿볼 수 있습니다. 하지만, 앞서 살펴본 바와 같이 부산광역시와 특별히 긴밀한 관계 및 그에 따른 인구 밀집으로 인해 통행량이 특정 기초자치단체들에 쏠리게 되어 이러한 장점이 잘 활용되지는 못하고 있는 것으로 보입니다.



[그림 7] 도내 시·군 노드의 연결 중심성 및 강도. 연결 중심성은 이웃 노드의 수, 강도는 이웃 노드들과의 통행량의 총합을 의미함. 후자는 0부터 10 사이의 값을 가지도록 정규화하였음.



[그림 8] (1) 이웃의 수. (2) 총통행량의 분포. 이웃의 수의 분포가 정규분포의 형태를 보이는 것을 통해 도내 시·군간 원활한 통행이 가능하도록 효율적으로 행정구역이 구획되었음을 엿볼 수 있음.

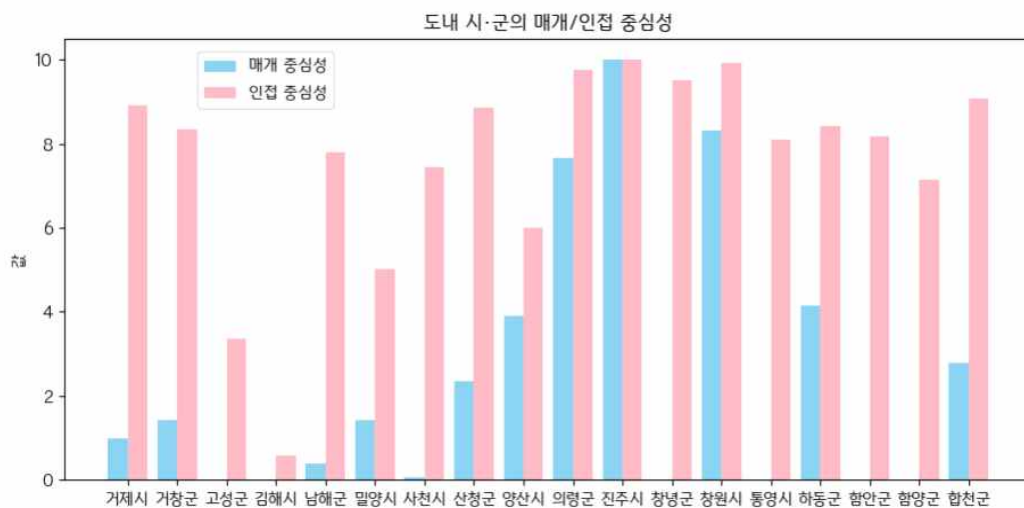
마지막으로, 앞서 언급한 것처럼 현재 경상남도가 도로교통의 측면에서 안고 있는 문제점을 해결하는데 기여할 수 있을 노드를 찾아보기 위해 시·군 노드들의 매개 중심성(betweenness centrality)  $B$ 과 인접 중심성(closeness centrality)  $C$ 을 확인해보았습니다.  $n$ 개의 노드를 원소로 가지는 노드의 집합  $N$ 으로 이루어진 네트워크에서, 임의의 노드  $i$ 에 대하여 이 두 가지 중심성은 다음과 같이 정의됩니다:

$$B_i = \sum_{g,h} \frac{\#(\sigma_{gh}(i))}{\#(\sigma_{gh})} \quad i, g, h \in N \dots\dots\dots (3)$$

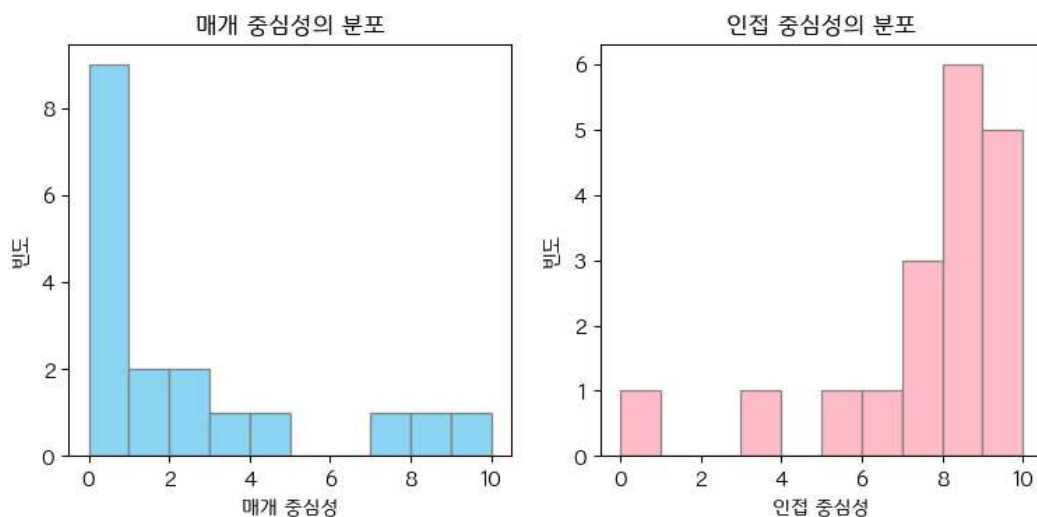
$$C_i = \frac{1}{\sum_{j \in N - \{i\}} \sum_{g,h \in \sigma_{ij}} w_{gh}} \quad i, j \in N \dots\dots\dots (4)$$

여기서  $\sigma_{gh}$ 는 노드  $g$ 에서  $h$ 에 이르는 최단 경로를 의미하며,  $\sigma_{gh}(i)$ 는 노드  $g$ 에서 출발해  $i$ 를 거쳐  $h$ 에 이르는 최단 경로를 의미합니다.  $\{w_{ij}\}$ 는 앞서 사용하였던 표기와 같이, 노드  $i$ 와  $j$ 를 연결하는 엣지에 부여된

가중치를 원소로 가지는 인접행렬을 의미합니다. 경상남도의 통행량 네트워크([그림 2])의 엣지에 부여된 통행량 가중치를, 앞서 노드의 강도를 구할 때와는 다르게 원활한 통행을 저해하는 요소로 보아 최단 경로를 구하는 과정에 반영할 수 있습니다. 즉, 통행량이 적어 가장 최소한의 정체를 보일 것으로 예상되는 경로를 최단 경로라고 생각할 수 있습니다(사실 절대적인 통행량 보다는 통행속도나 통행 시간이 일종의 비용(cost)의 역할을 하는 데에 적합하다고 생각되지만, 고속도로 외 다른 유형의 도로에 대해서는 통행량 데이터만 구할 수 있었습니다). 이러한 맥락에서, 매개 중심성은 네트워크의 모든 노드 쌍에 대하여 최단 경로를 고려했을 때, 그중 특정 노드를 거치는 최단 경로의 수를 의미합니다. 즉, 얼마나 노드 간의 통행을 매개하고 있는지를 보여주는 척도입니다. 반면 인접 중심성은 특정 노드로부터 다른 노드들에 이르는 최단 경로의 합 역수로서, 얼마나 적은 비용으로 다른 노드에 이를 수 있는지를 정량화한 것입니다. 통행에 많은 비용이 요구되는 경우, 곧 통행량이 많은 길을 지나게 된다면 낮은 인접 중심성을 가지게 됩니다. 위와 같은 방법으로 산출한 도내 시·군들의 두 가지 중심성과 그들은 분포는 아래의 [그림 9], [그림 10]와 같습니다. 여기서 각 중심성은 앞선 연결 중심성과 같이 0과 10 사이의 값을 가지도록 정규화하였으며, 이 둘의 합을 중심성 점수로 정하여 [그림 11]과 같이 노드의 색상에 반영하였습니다.



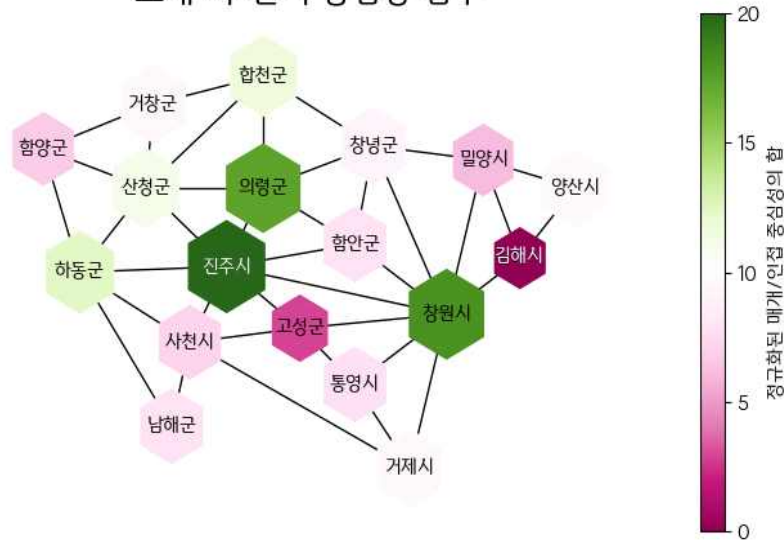
[그림 9] 도내 시·군 노드의 매개 중심성 및 인접 중심성. 두 중심성 모두 0부터 10 사이의 값을 가지도록 정규화하였음.



[그림 10] 매개 중심성과 인접 중심성의 분포. 두 중심성은 상이한 분포를 보임; 다수의 시·군은 낮은 매개 중심성과 높은 인접 중심성을 보임. 후자는 앞서 살펴본 [그림 8-1]과 같이 경상남도의 효율적인 행정구역 구획과 편중된 교통량에 기인함.



도내 시·군의 중심성 점수



[그림 11] 0과 10 사이의 값을 가지도록 정규화된 매개·인접 중심성을 합하여 얻은 중심성 점수. 높은 점수를 보이는 진주시, 의령군, 창원시는 교통의 허브로서 활약하며 현재의 편중된 교통량을 해소하는데 큰 기여를 할 수 있을 것으로 기대됨. 특히 현재에도 허브로 기능하고 있는 창원시의 경우, 김해시와의 구간

[그림 10]의 매개 중심성과 인접 중심성은 상이한 분포를 보이며, 각각은 다음과 같이 해석될 수 있습니다: 전자의 경우, 대부분의 시·군의 낮은 매개 중심성을 보이는 가운데, 소수의 지역만이 높은 매개 중심성을 보입니다. 남해군, 거제시처럼 이웃 노드의 수가 많지 않거나 (앞서 살펴본 바에 따르면 평균 이웃 노드의 수는 5개였습니다), 김해시, 고성군처럼 이웃 노드가 많더라도 모든 이웃과의 구간 교통량이 많은 경우에는 낮은 매개 중심성을 보이게 됩니다. 반면 다수의 시·군이 높은 인접 중심성을 보이는데, 이는 앞서 이웃의 수 분포 ([그림 8-1])가 정규분포를 보이는 것과 맥락을 같이 합니다. 즉, 탁월한 행정구역의 설정으로 도내에서의 이동이 전반적으로 수월함을 의미합니다. [그림 11]에서, 높은 중심성 점수를 보이는 지역 세 곳—진주시, 의령군, 창원시—을 확인할 수 있습니다. 이 노드들은 충분히 많은(평균 이웃 노드의 수 이상의) 이웃을 보유하고 있으면서도, 이웃 노드와의 연결 통로가 현재보다 더 많은 교통량을 수용할 수 있는 것으로 예상되어 교통의 허브로서 활약할 수 있을 것으로 기대됩니다. 이 중 [그림 7]에서 확인했던 것처럼, 이미 상당히 많은 통행량을 감당하고 있는 창원시가 높은 중심성 점수를 보이는 것이 주목할만합니다. 이는 최다 이웃 노드를 보유하고 있으면서도 주로는 김해시와의 구간에만 교통량이 치우쳐있어 다른 옛지들이 잘 활용되지 못하고 있음을 보여줍니다. 따라서 지역 간 균형적인 발전을 통해 창원시와 연결되는 다른 구간들의 이용을 활성화한다면 편중된 교통량을 효과적으로 분산시키는 동시에, 전반적으로 잘 구축된 경상남도의 네트워크를 기반으로 도내 전역에 걸쳐 시·군 간 소통의 증진을 꾀해볼 수 있을 것으로 기대합니다. 반면 고성군과 김해시의 경우 중심성 점수가 눈에 띄게 낮게 나타납니다. 이는 앞서 언급한 것처럼, 두 곳 모두 연결된 모든 옛지에 이미 높은 수준의 통행량 부하가 걸려 현재로서는 추가적인 교통량을 감당하기 어려움을 암시합니다. 특히 김해시의 경우에는 김해시~창원시, 김해시~부산광역시 구간의 압도적인 통행량([그림 3])과 더불어 상대적으로 적은 이웃 노드를 보유하고 있는 탓에 눈에 띄게 낮은 중심성 점수를 기록하였습니다. 김해시~부산광역시 구간은 [그림 4-2]에서 확인이 된 것처럼 평일 출근 시간의 정체가 가장 심한 구간으로서, 하루 평균 천만 이상의 도로 이용자가 가장 높은 수준의 불편함을 감내하며 이용하고 있을 것으로 예상됩니다. 이에 앞서 언급한 것처럼, 부산광역시로 이어지는 다양한 길목들로 통행량을 분산시키는 것이 시급해 보입니다.

지금까지 논의한 내용을 요약해보자면, 먼저 평일 하루 평균 고속도로 구간 교통량을 기반으로 우리나라의 17개 광역자치단체를 노드로 하는 전국 네트워크를 구축하였습니다([그림 1]). 이때 경상남도가 6개의 최다 이웃을 보유하고 있는 것과 더불어 수도권 다음으로 많은 (다른 광역시로의) 통행량을 보이며, 비수도권에서

도로교통의 허브로서 역할을 하고 있음을 확인하였습니다. 다음으로, 국도와 지방도의 통행량까지 고려하여 [그림 2]와 같이 경상남도의 18개의 시·군과 인접한 여섯 개의 시·도로 구성된 네트워크를 만들었습니다. 이때 엣지에 구간 통행량만큼의 가중치를 부여하고 구간통행량을 한눈에 파악할 수 있도록 컬러맵을 이용해 시각화하였습니다. 이렇게 경상남도와 인접한 타 시·도 간의 상대적인 연결성을 가늠해볼 수 있었으며, 특히 부산광역시와 상호작용이 큰 것을 확인하였습니다. 또한 구간 통행량과 평일 출근 시간의 고속도로 구간 통행 속도를 대조하는 과정에서, 도로교통 인프라의 품질 및 성능을 가늠해볼 수 있었습니다([그림 4]). 구체적으로, 경상남도~울산광역시 구간은 통행량이 가장 적음에도 불구하고 평일 출근 시간의 정체는 비교적 심하게 나타나는 것은 해당 구간에서 정체를 유발하는 요인을 파악하여 해결할 필요성을 시사하는 것으로 보였습니다. 이어서, 인접한 시·도에 이르는 서로 다른 경로 간의 균형 정도를 [그림 5]와 같이 확인해보았습니다. 전반적으로 도로 간 균형이 잘 맞지 않음을 확인했고, 이러한 불균형을 유발한 주요 원인 몇 가지를 구축한 네트워크([그림 2])와 경상남도의 인구 및 지도([그림 6])를 복합적으로 고려해 도출해보았습니다. 마지막으로 네트워크 이론을 통해 경상남도의 시·군 노드들의 특성을 정량적으로 분석하는 과정에서, 탁월한 행정구역의 구획으로 근본적으로 도내 시·군간의 원활한 소통이 가능하지만, 부산광역시와 특별히 긴밀한 관계 및 그에 따른 인구 밀집으로 인해 통행량이 특정 구간에 몰리게 되어 이러한 장점이 잘 활용되지는 못하고 있는 것을 발견하였습니다. 이후 매개 중심성과 인접 중심성으로부터 중심성 점수를 산출하여, 교통의 허브로서 활약할 수 있을 것으로 기대되는 세 노드—진주시, 의령군, 창원시—를 찾았습니다. 이 노드들은 충분히 많은 이웃 노드들을 보유하고 있지만, 아직까지는 이들과의 통로가 충분히 잘 활용되고 있지 못하고 있습니다. 따라서 이 세 지역을 중심으로 도로교통을 개선함으로써, 경상남도의 도로 교통이 현재 안고 있는 문제들을 효과적으로 개선하여 더욱 많은 도민들과 방문객들에게 편리한 길목을 제공할 수 있기를 바랍니다.

- 1) Barabási, A. (2013). Network science. Philosophical Transactions - Royal Society. Mathematical, Physical and Engineering Sciences/Philosophical Transactions - Royal Society. Mathematical, Physical and Engineering Sciences, 371(1987), 20120375. <https://doi.org/10.1098/rsta.2012.0375>
- 2) Tore Opsahl, Filip Agneessens, John Skvoretz, Node centrality in weighted networks: Generalizing degree and shortest paths, Social Networks, Volume 32, Issue 3, 2010, Pages 245-251, ISSN 0378-8733, <https://doi.org/10.1016/j.socnet.2010.03.006>.
- 3) 경남 빅데이터 허브 플랫폼. <https://bigdata.gyeongnam.go.kr/index.gn>
- 4) 고속도로 공공데이터 포털, 한국도로공사. <https://data.ex.co.kr/>
- 5) 교통량정보제공시스템, 국토교통부와 한국건설기술연구원. <https://www.road.re.kr/main/main.asp>
- 6) Matplotlib: Visualization with Python. <https://matplotlib.org/>
- 7) Aric A. Hagberg, Daniel A. Schult and Pieter J. Swart, "Exploring network structure, dynamics, and function using NetworkX", in Proceedings of the 7th Python in Science Conference (SciPy2008), Gäel Varoquaux, Travis Vaught, and Jarrod Millman (Eds), (Pasadena, CA USA), pp. 11-15, Aug 2008. <https://networkx.org/documentation/stable/index.html>
- 8) 대한민국의 고속도로 영업소 목록, 위키백과. [https://ko.wikipedia.org/wiki/%EB%8C%80%ED%95%9C%EB%AF%BC%EA%B5%AD%EC%9D%98\\_%EA%B3%A0%EC%86%8D%EB%8F%84%EB%A1%9C\\_%EC%98%81%EC%97%85%EC%86%8C\\_%EB%AA%A9%EB%A1%9D](https://ko.wikipedia.org/wiki/%EB%8C%80%ED%95%9C%EB%AF%BC%EA%B5%AD%EC%9D%98_%EA%B3%A0%EC%86%8D%EB%8F%84%EB%A1%9C_%EC%98%81%EC%97%85%EC%86%8C_%EB%AA%A9%EB%A1%9D)
- 9) 네트워크 이론에서 엣지(edge)는 링크(link) 또는 한국어로 간선이라고도 불리며, 네트워크(network)도 그래프(graph) 혹은 복잡계 시스템(complex system)이라고도 불립니다. 엣지가 방향성을 가지는지에 따라 네트워크는 방향성이 있는 네트워크(directed network) 또는 방향성이 없는 네트워크(indirected network)로 분류됩니다.
- 10) 분류:경상남도의 도로 노선, 위키백과. [https://ko.wikipedia.org/wiki/%EB%B6%84%EB%A5%98:%EA%B2%BD%EC%83%81%EB%82%A8%EB%8F%84%EC%9D%98\\_%EB%8F%84%EB%A1%9C\\_%EB%85%B8%EC%84%A0](https://ko.wikipedia.org/wiki/%EB%B6%84%EB%A5%98:%EA%B2%BD%EC%83%81%EB%82%A8%EB%8F%84%EC%9D%98_%EB%8F%84%EB%A1%9C_%EB%85%B8%EC%84%A0)
- 11) 이 open API는 인증키와 더불어 날짜와 시간대를 입력해 불러올 수 있으며, 날짜, 시간대, 휴게소명, 주소, 강수량 값, 적설량 등 정보를 포함하고 있습니다.
- 12) 국가교통 데이터 오픈마켓에서 한국도로공사가 제공하는 '고속도로 콘존 및 차로유형별 교통 소통 데이터(5분 단위)'에 따르면, 콘존은 'IC(나들목), JC(분기점), 그리고 TG(요금소) 등 통행하는 차량수가 일정한 고속도로 구간'을 의미합니다. [https://www.bigdata-transportation.kr/frn/prdt/detail?prdtId=PRDTNUM\\_0000000000007](https://www.bigdata-transportation.kr/frn/prdt/detail?prdtId=PRDTNUM_0000000000007)
- 13) GK해상도로주식회사. <https://www.gklink.com/page/>
- 14) 시군별 현황, 경상남도. [https://www.gyeongnam.go.kr/index.gyeong?menuCd=DOM\\_000000137004001000](https://www.gyeongnam.go.kr/index.gyeong?menuCd=DOM_000000137004001000)